

УДК 621.593

**Г.К. Лавренченко**, доктор техн. наук, **А.В. Плесной**, аспирант

ООО «Институт низкотемпературных энерготехнологий», а/я 188, г. Одесса, Украина, 65026

e-mail: lavrenchenko.g.k@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8239-7587>, <http://orcid.org/0000-0002-2127-2991>

## АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МНОГОРЕЖИМНОЙ ВРУ СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ С ДЕТАНДЕР-КОМПРЕССОРНЫМ АГРЕГАТОМ ТРЁХВАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

При создании современных жидкостных и газожидкостных воздуходелительных установок (ВРУ) на основе циклов среднего давления особое внимание уделяют обеспечению их высокой эффективности. Рассматривается схема ВРУ с детандер-компрессорным агрегатом (ДКА) многовальтовой конструкции, в которой работа расширения части перерабатываемого воздуха преобразуется в дополнительную холодопроизводительность. В ДКА используется турборедуктор для обеспечения оптимальной частоты вращения вала компрессорной ступени (КС), механически связанной с детандерными ступенями высокого (ДС1) и низкого (ДС2) давлений агрегата. Режимная и конструктивная оптимизация ДКА, применяемого в схеме ВРУ, позволила оценить предельные показатели агрегата в расчетных и нерасчетных режимах его работы. Выполненные исследования показали, что ВРУ, производящая свыше 1000 кг/ч жидкого кислорода, может эффективно вырабатывать как жидкие кислород или азот, так и газообразные продукты под давлением, используя при этом только машины динамического принципа действия.

**Ключевые слова:** Воздуходелительная установка. Детандер-компрессорный агрегат. Турборедуктор. Компрессорная ступень. Детандерные ступени. Работа расширения. Нерасчетный режим. Оптимизация. Удельные затраты энергии.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Воздуходелительные установки (ВРУ) создаются для их работы в нескольких режимах производства жидких и газообразных продуктов разделения воздуха [1].

Разработка ВРУ проводится на так называемый проектный режим, характеризующийся расчётными значениями количества перерабатываемого воздуха, а также вполне определёнными величинами материальных и тепловых потоков. В качестве такого режима обычно используется наиболее затратный среди возможных [2-6]. В нашем случае за проектный принимается режим производства жидкого кислорода.

Для этих условий разрабатывается также и эффективный детандер-компрессорный агрегат (ДКА). Оптимизация его конструктивных и режимных характеристик проводится в тесной связи с оптимизацией и самой ВРУ. При использовании же ДКА в ВРУ, реализующей газожидкостные режимы, необходимо решать задачи определения его характеристик в нерасчетных условиях.

Расчет показателей ВРУ с ДКА при расходе перерабатываемого воздуха (п.в.) В выполнялся с учетом получения следующих продуктов:

I. Жидкий кислород (жидкостный основной режим Кж)

$$K_{ж} = V - A, \quad (1)$$

где А — отбросный азот.

II. Газообразный кислород под давлением и жидкий кислород (кислородный газожидкостный режим КдКж)

$$K_{д} + K_{ж} = V - A, \quad (2)$$

где Кд — газообразный кислород под давлением.

III. Жидкий азот (жидкостный режим Аж)

$$A_{ж} = V - A - K_{ж}', \quad (3)$$

где Кж' — фракция безопасности.

IV. Газообразный азот под давлением и жидкий азот (газожидкостный режим АдАж)

$$A_{д} + A_{ж} = V - A - K_{ж}', \quad (4)$$

где Ад — газообразный азот под давлением.

Работа ВРУ в указанных режимах обеспечивается применением в ней центробежного турбокомпрессора с давлением нагнетания 4,2 МПа [7], а также эффективной схемы с двухступенчатым расширением и промежуточным сжатием части воздуха в компрессорной ступени (КС) при использовании работ расширения этого потока в детандерных ступенях высокого (ДС1) и низкого (ДС2) давлений. Как показано ранее в [8], такой способ позволяет снизить затраты на производство жидкого кислорода при эффективной работе ДКА и каждой ступени в отдельности.

Цель настоящей работы состоит в определении оптимальных параметров ВРУ, а также режимных и